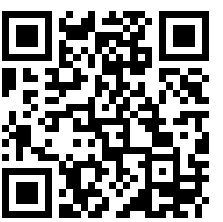
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

537.81
S21

Digitized by Google

Learning and Labor.
LIBRARY
OF THE
University of Illinois.
CLASS. BOOK. VOLUME.
537.81 S21
Accession No.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

REMOTE STORAGE

Die neuesten Fortschritte

auf dem Gebiete der

Funkentelegraphie.

Von

A. Ślaby,

Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin.

Vorgetragen in der XLII. Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Kiel.

Mit einer Tafel.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1901.

Digitized by Google

Sonderabdruck aus der „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“
1901. — Nr. 30.

Digitized by Google

Jede unvermittelte Wechselwirkung zwischen räumlich getrennten lebenden Wesen hat etwas merkwürdig Bestrickendes, und die Befreiung von den Schranken des Raumes auch in dieser Beziehung war von jeher ein Lieblingstraum der Menschheit. Einzelnen Naturen, so lautet der Glaube im Volke, soll die Fähigkeit innewohnen, Dinge zu wissen, die weit entfernt sich ereignen, und besonders aus dem Orient werden merkwürdige Vorkommnisse berichtet. Wenn während der englisch-afghanischen Kriege die schnellsten Reiter entsendet wurden, um Truppenkörpern, 50 Meilen entfernt, Befehle zu überbringen, so kamen sie häufig zu spät: die Eingeborenen hatten bereits davon erfahren und Gegenmassregeln ergriffen. Der Tod des Generals Gordon war in den Strassen von Kairo am selben Tage bekannt, obwohl die Telegraphenlinie zerstört war. Weniger wunderbar, aber nicht minder interessant klingt, was ein Reisender von einem Indianerstamm des Amazonenflusses berichtet. Er fand dort in der Hütte des Häuptlings, zur Hälfte in Erde vergraben, ein Instrument, das, mit einem Hammer berührt, Signale nach einer andern weit entfernten Hütte übertrug. Eine verbindende Erzader oder ein unterirdischer Wasserlauf könnte uns dieses Phänomen erklären.

Ratloser standen aber die meisten den ersten Versuchen Marconis gegenüber, obwohl die Telegraphie ohne verbindenden Draht an sich nicht neu war. Tesla, Edison und Preece hatten bereits vor Jahren Einrichtungen hierfür ersonnen, Edison sogar das Problem gelöst, von einem fahrenden Eisenbahnzuge aus zu telegraphiren. Auch die von Marconi zuerst benutzte fernwirkende Kraft des Funkens war an sich durchaus nicht neu, ja schon vor mehr als hundert Jahren hatte sie sich der Forschung gleichsam aufgedrängt, sie war nur nicht beachtet und in ihrer wahren Bedeutung erkannt worden. Der Beobachtung einer Frau verdanken wir nach den Ueberlieferungen die erste Wahrnehmung des Phänomens. Die Gattin Galvanis half ihrem Manne mit

57287

Digitized by Google

geschickten Händen die feinen Nerven eines Froschschenkels für physiologische Untersuchungen präpariren. Er selbst arbeitete in einiger Entfernung davon an einer Elektrisirmaschine und zog Funken aus derselben. Da beobachtete sie mit Staunen jedesmal, wenn dort an entfernter Stelle ein Funke übersprang und sie selbst zugleich mit dem Messer den Nerv des Frosches berührte, eine Zuckung des Schenkels. Zwischen dem funkenerzeugenden Gatten und ihr selbst bestand also ein geheimnisvoller elektrischer Zusammenhang, der seine Wirkungen durch den Raum übertrug, — eine drahtlose Telegraphie.

Die damalige Beobachtung blieb fruchtlos; der eigensinnige Gelehrte wollte sie durchaus auf geheimnisvolle animalische Kräfte zurückführen. Es wurde eine berühmte wissenschaftliche Streitfrage daraus, welche bald hinüberspielte auf ein anderes Gebiet, dasjenige der Berührungselektricität, und ein grösserer als Galvani: Alessandro Volta, beendete den Kampf durch die glänzendste Entdeckung des naturwissenschaftlichen Zeitalters, den elektrischen Gleichstrom. Nach fast hundert Jahren kehrt die Wissenschaft zu jenem ersten Phänomen zurück, ein deutscher Forscher: Heinrich Hertz, deutet uns den Zusammenhang durch das Spiel elektrischer Wellen, und ein jugendlicher Landsmann Galvanis: Guglielmo Marconi, zieht in wenigen Jahren rastloser Arbeit daraus die wichtigsten technischen Folgen, indem er Telegramme durch die Luft entsendet auf hundert Kilometer und mehr.

Die Sensation, welche diese Versuche hervorriefen, liess sich in dem Kursrückgange der englischen Telegraphengesellschaften ziffernmässig erkennen. Doch die Gewöhnung des Menschen an die Verwertung früher unbekannter Naturkräfte ist eine erstaunlich schnelle. Was uns vor wenig Jahren fast wie ein Wunder berührte, erscheint uns heute als selbstverständlich und naheliegend. Ich spreche mit Absicht von »Gewöhnung«, denn von eigentlichem Verstehen ist auf dem ganzen Gebiet der Elektrizität leider noch wenig die Rede. Je schneller wir eine neue Thatsache in den Kreis unserer gewohnten Vorstellungen einordnen können, desto leichter vollzieht sich der geistige Assimilirungsvorgang, den wir »Verstehen« nennen. Bei der Funkentelegraphie hatten diejenigen, welche mit ihren pysikalischen Vorstellungen an die Thatsachen anknüpfen mussten, die sie vor dreissig und mehr Jahren auf der Schulbank erfahren, allerdings mit etwas grösseren Schwierigkeiten zu kämpfen. Sie hatten sich zunächst

Digitized by Google

in der für sie neuen Welt der elektrischen Wellen zurechtzufinden. Denn es schien anfangs unmöglich, die Fernwirkung des Funkens anders als durch den Begriff einer wellenartigen elektrischen Strahlung, wie ihn Maxwell eingeführt hatte, zu erklären. Und doch ist dieser Begriff nur eine Hypothese, wie so viele andere Grundvorstellungen der Physik. Heute, wo wir die Gesetze der Funkentelegraphie besser übersehen, können wir ihre Erklärung ganz gut auch auf ältere Vorstellungen zurückführen. Es sind die wohlbekannten Erscheinungen der elektrischen Induktion, die ich dazu heranziehen will.

Wenn ein stromführender Leiter auf längerer Strecke einem zweiten an sich stromlosen Leiter parallel geführt ist, so kann in diesem unter gewissen Umständen ein Strom hervorgerufen werden, ohne dass direkte elektrische Kräfte dabei mitwirken. Wir brauchen nur den Strom in dem ersten Leiter, den wir »Primärstrom« nennen wollen, in seiner Stärke zu ändern, sofort entsteht in dem zweiten Leiter ein allerdings schnell vorübergehender »Sekundärstrom«. Und zwar entspricht jeder Zunahme des Primärstromes ein entgegengesetzt gerichteter, jeder Abnahme desselben ein gleichgerichteter Sekundärstrom. Da beide Stromleiter metallisch völlig getrennt sind, so kann kein Zweifel darüber bestehen, dass die elektrische Erscheinung von dem Primärdraht durch die Luft auf den Sekundärdraht übertragen wird. Besonders auffallend und regelmässig wird das Phänomen bei einem periodisch unterbrochenen oder wechselnden Primärstrom. Dann wird der Sekundärdraht zum Träger eines andauernden Wechselstromes, dessen Periodenzahl oder Frequenz mit der des Primärstromes übereinstimmt. Von dem Primärdraht gehen die Wirkungen aus, der Sekundärdraht ist gewissermassen nur ein elektrischer Fühler, der uns von dem Vorgang in dem Primärdraht Kenntnis giebt.

Der elektrische Gleichstrom hat diese merkwürdige Eigenschaft nicht. Mag er tausende von Pferdestärken durch einen Draht dahintragen, kein sichtbar oder fühlbar nach aussen dringendes Zeichen verrät uns die Herkulesarbeit der elektrischen Kräfte. Es ist ähnlich wie mit dem Wasser, das durch eine Rohrleitung dahinbraust — kein Merkmal an der Aussenwand des Rohres lässt auf den Vorgang im Innern schliessen. Und doch können wir mit dem Druckwasser gewaltige Kräfte übertragen. Wie ändert sich aber das Bild, wenn der Wasserstrom plötzlich gehemmt wird, etwa durch Schliessen eines Ventiles! Ein heftiger Stoss erschüttert das Rohr, nicht selten so

Digitized by Google

stark, dass die Wandung zerreisst. Nehmen wir an, dass das Wasser sogar seine Bewegungsrichtung ändert, viele male in einer Sekunde, so würden die Erschütterungen des Rohres in gesetzmässiger Wiederholung sich der umgebenden Luft mitteilen und Schallwellen von bestimmter Tonhöhe in unser Ohr senden. Die Erschütterungen unseres Trommelfelles geben uns jetzt Kunde von dem inneren Vorgang im Wasserrohr. Wir wissen, sie werden übertragen durch die gesetzmässigen Schwingungen der in Mitleidenschaft gezogenen Luft.

Ganz ähnlich können wir uns den Vorgang bei der Uebertragung einer elektrischen Erschütterung denken. Nur die Luft ist entbehrlich, denn die Uebertragung erfolgt ebenso gut auch durch den luftleeren Raum. Nun ist aber die heutige mechanische Naturauffassung ein geschworener Feind aller Erklärungen, welche die Möglichkeit einer Uebertragung von Kräften ohne die Mitwirkung stofflicher Materie zur Voraussetzung haben; man hat darum einen Stoff erfunden, den Weltäther, welcher, den menschlichen Sinnen zwar nicht wahrnehmbar, dennoch elektrische Impulse ebenso weiterzutragen imstande sein soll, wie der Wasserspiegel die Wellenringe eines Steinwurfes, oder wie die Luft, wenn sie das leise Erzittern der Violinsaite durch rhythmische Schwingungen auf unser Ohr überträgt.

Wir dürfen aber in diesen Erklärungen nichts weiter suchen, als ein Mittel, um die verschleierten Aeusserungen der Natur dem beschränkten Fassungsvermögen des menschlichen Geistes greifbarer zu gestalten und ihre Einschachtelung in die verschiedenen Fächer und Kasten unseres Gehirns zu erleichtern. Wir gleichen hierin den Kindern, die bunte Muscheln am Strande des Ozeans sammeln und nach Grösse und Farbe ordnen. Ein herrliches Geschenk hat uns aber die Allmacht verliehen: das ist die Fähigkeit, die Gesetze zu erkennen, nach denen das Walten der Natur sich ordnet, und diese Gesetze wiederum zum Wohle der Menschheit schöpferisch zu verwerten. In dieser Thätigkeit reichen sich Forscher und Ingenieur zu erspriesslichem Bunde die Hände.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt aus die neue Naturerscheinung, welche an der Wende des Jahrhunderts der Menschheit gleichsam als eine reife Frucht zuteil geworden ist. Die Ermittlung der Gesetze der elektrischen Induktion verdanken wir dem grössten naturwissenschaftlichen Forscher des vergangenen Jahrhunderts:

Digitized by Google

Michael Faraday. Er und seine Nachfolger zeigten uns, dass die Kräfte, welche ein elektrischer Strom in einem von diesem völlig getrennten Drahte hervorruft, am stärksten sind, wenn die Drähte eine parallele Lage haben, wenn sie thunlichst lang sind, wenn der Mittelwert des Primärstromes und die Schnelligkeit der Aenderung möglichst gross sind. Unter sonst gleichen Verhältnissen nimmt die übertragene Wirkung mit der Entfernung ab, aber nicht wie bei den von einem elektrischen Zentrum ausstrahlenden Kräften mit dem Quadrat, sondern mit der einfachen Entfernung. Bezeichnet l die Länge der parallelen Leitungen, a ihren Abstand, J die mittlere primäre Stromstärke und T die Zeitdauer der periodischen Schwankungen, also $\frac{1}{T}$ die Anzahl derselben in einer Sekunde oder ihre Frequenz, so ist die elektrische Erregung in dem Sekundärdraht proportional dem Ausdruck $\frac{l^2 J}{aT}$, die Uebertragungsweite also proportional $\frac{l^2 J}{T}$. Ein einfaches Experiment wird uns von der Richtigkeit dieses Gesetzes überzeugen. Hier sind, Fig. 1, in der Länge des Saales zwei parallele Leitungen über einander ausgespannt; die obere ist Teil eines Kreises, in welchem ich mittels einer Batterie B und eines regulirbaren Widerstandes W durch einen rotirenden Unterbrecher T absetzende, also veränderliche Ströme J erzeuge. Der zweite, darunter befindliche Draht ist gleichfalls durch eine Leitung geschlossen und enthält zum Nachweis der darin erzeugten Sekundärströme ein Telephon E; dieser Kreis ist von dem ersten völlig isolirt. Lasse ich nun den Unterbrecher spielen, so liefert das Telephon weithin hörbare Töne. Eine schnellere Unterbrechung erzeugt einen lauteren und höheren Ton; eine Vergrösserung der Entfernung der parallelen Leitungen verringert die Tonstärke. Kürze ich die parallel geführten Drähte, so geht der Ton gleichfalls merklich zurück. Eine Verstärkung des Stromes durch Ausschaltung des Widerstandes W lässt ihn von neuem anschwellen.

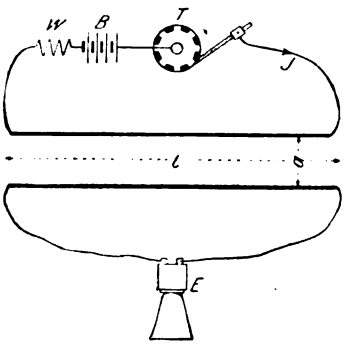


Fig. 1.

Das sind die einfachen Grundgesetze, welche auch die heutige drahtlose Telegraphie befolgt. Man könnte die Frage aufwerfen,

Digitized by Google

warum die Nutzanwendung auf grosse Entfernungen, die das Ueberraschende der neuen Erfindung ausmacht, nicht schon zu Faradays Zeiten versucht wurde. Der Grund liegt heute klar zutage. Dass bei Verlängerung der Paralleldrähte die Uebertragungsweite zunimmt, wurde zwar erkannt, zunächst indessen nur als Störung empfunden in langen Telephonleitungen, welche vorhandenen Telegraphenleitungen auf weite Strecken hin parallel liefen. Sir William Preece verdanken wir ein näheres Studium dieser Erscheinung. Zwischen Durham und Darlington liefen auf 26 km zwei parallele Telegraphenleitungen, 16 km von einander entfernt; Preece stellte fest, dass mithülfe eines Telephons in der einen Leitung Morse-Telegramme, die auf der andern Leitung gesandt wurden, gehört werden konnten. Er gründete darauf ein System der drahtlosen Telegraphie und richtete auf verschiedenen Inseln in der Nähe des Festlandes mithülfe von parallelen Leitungen Telegraphenstationen ein, die zumteil noch heute im Betriebe sind. Die kilometerlangen Drahtführungen, welche dieses System benötigt, beschränken indessen seine Verwendbarkeit auf einzelne besonders geeignete Fälle und genügen nur für geringe Entfernungen. Für telegraphischen Verkehr von Schiff zu Schiff oder von Schiff zu Land ist das System ungeeignet.

Abgesehen von der Stromstärke, die bis jetzt nur einer geringen Steigerung fähig ist, bleibt sonach, wie unsere Formel zeigt, die Frequenz der Stromschwankungen $= \frac{1}{T}$ der einzige Faktor, von dessen Zunahme sich ein nennenswerter Erfolg hoffen lässt. Dass dies nun in einem alle Erwartungen weit übersteigenden Masse möglich geworden ist, verdanken wir den glanzvollen Entdeckungen der letzten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts, die mit dem Namen Heinrich Hertz ruhmvoll verbunden sind. Um den gewaltigen Unterschied, um den es sich handelt, gleich vorweg zu betonen, will ich erwähnen, dass die Zahl der Unterbrechungen oder Stromschwankungen, welche wir mit den früher allein bekannten rein mechanischen Mitteln erzeugen konnten, wenige hundert in der Sekunde nicht überschreitet, dass die neuen Hülfsmittel dagegen uns Wechselströme liefern, deren Frequenz sich nach Millionen in der Sekunde beziffert. Die Uebertragbarkeit von elektrischen Impulsen wird also dadurch auf 10 000 mal grössere Entfernungen gesteigert.

Mit welch kunstvollen Einrichtungen muss die Maschine versehen sein, welche die Wechselzahl der Ströme in so erstaunlicher Weise

Digitized by Google

vermehrt, dass schon ihr blosses Zählen die Fähigkeit unserer Sinne weit übersteigt!

Als Faraday am Ende seines Lebens von einer Dame gefragt wurde, was die Elektrizität denn eigentlich sei, antwortete er: »Vor vierzig Jahren hätte ich geglaubt, die Frage beantworten zu können, heute vermag ich es nicht«. Was würde er geantwortet haben, wäre ihm die Leistungsfähigkeit jener wunderbaren Maschine in ihrem vollen Umfange bekannt gewesen, jener Maschine, welche aus der Werkstatt der Natur unmittelbar ohne menschliches Zuthun hervorgeht und die schon in den Kindheitstagen der Elektrizität den unbeholfenen Händen und Sinnen der Menschen zum ahnungslosen Spiel und unverstandenen Gebrauch sich auslieferte? Es ist der elektrische Funke, der diesen kunstvollen Mechanismus in sich birgt und seine erstaunliche Wirkung in dem rätselvollen Experiment der Frau Galvanis der Menschheit zum erstenmale offenbarte.

Der elektrische Funke ist nach der üblichen Ausdrucksweise der plötzliche Ausgleich entgegengesetzt gespannter Elektrizitäten. Dieser Ausgleich vollzieht sich zwar in der Form eines elektrischen Stromes, ist aber durchaus nicht etwa als ein einmaliger Austausch zu betrachten. Vergleichen wir die übertretenden Elektrizitätsmengen mit einer ungeheuren Anzahl elastischer Bälle, die hinübergeworfen werden und wieder zurückprallen und dieses Spiel in unermüdlicher Folge wiederholen, so kommen wir zu einem treffenden Bilde. Unfassbar unsern Sinnen und durch mechanische Analogien nicht zu erläutern bleibt aber die ungeheure Geschwindigkeit, mit der dieser pendelnde Ausgleich sich vollzieht. Die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel wäre ein kindlicher Vergleich mit dem oszillirenden Sturm der elektrischen Partikel, die in einer Sekunde viele millionenmal in dem Funken ricochettiren.

Und doch, wenn ich alle Mittel in Anwendung bringe, die geeignet sind, die Geschwindigkeit herabzusetzen, kann ich dieses absetzende Ballspiel in seine einzelnen Phasen zerlegen. Wir wollen den von einem Funken *F* erzeugten Wechselstrom durch eine evakuirte Röhre *G* leiten, welche in bekannter Weise dadurch zum Leuchten kommt, und den Lichtstreifen in einem rotirenden Spiegel *S* betrachten, Fig. 2. Das Bild wird dadurch zu einem breiten leuchtenden Bande auseinandergezogen. Bei näherer Betrachtung aber löst sich dieses Band in eine Reihe von parallelen Streifen mit abnehmender Breite

Digitized by Google

und Helligkeit auf. Hierbei erkennen wir die absetzenden, hin- und herschwingenden Entladungen, welche der Funke hervorruft.

Wir können den Vorgang vergleichen mit der schwingenden Saite der Violine oder mit der vibrirenden Bewegung, in welche die entspannte Sehne einer Armbrust versetzt wird. Nach Auslösung der Spannung dauert es geraume Zeit, ehe diese zitternde Bewegung zur Ruhe kommt. Ganz ähnlich ist die schwingende oszillirende Entladung, wenn die elektrisch gespannten Kugeln durch den springenden Funken in Verbindung gesetzt werden.

Die schnell oszillirenden Funkenströme haben nun aber weiter eine merkwürdige Eigenschaft, die wir noch vor dreissig Jahren als ganz unmöglich und allen Grundlehren der Elektrizität widersprechend bestritten hätten. Wir haben damals gelernt, dass elektrische Ströme nur in geschlossenen Leitungen bestehen können. Für Gleichströme gilt dieses Gesetz auch noch heute; die oszillirenden Funkenströme haben sich jedoch gänzlich davon freigemacht; sie können auch in ungeschlossenen Leitern bestehen, ja sie entwickeln in diesen erst recht die Fähigkeit, weittragende Induktionswirkungen auszuüben. Alles Philosophiren würde uns diese Möglichkeit niemals erschlossen haben; ein einfacher Versuch führt es uns aber unmittelbar vor Augen. Mithülfe des bekannten Ruhmkorffschen Induktoriums erzeuge ich zwischen zwei kleinen Metallkugeln ein dauerndes Funkenspiel — eine Reibungselektrisirmaschine oder eine Influenzmaschine könnte ebenso gut dazu dienen. Mit beiden Kugeln habe ich nach rechts und links geradlinig ausgespannte Drähte verbunden, die isolirt an den Wänden des Saales befestigt sind, Fig. 3. Eingeschaltet in diese Drähte sind ein Paar gewöhnliche Glühlampen mit linearem Faden. Das Aufleuchten derselben zeigt uns unwiderleglich, dass sie von einem Strome durchflossen werden. Von den sich entladenden Kugeln stürzen sich die elektrischen Ströme gleichsam nach beiden

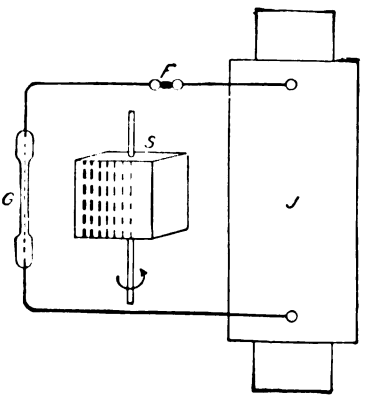


Fig. 2.

Digitized by Google

Seiten in die offenen Leitungen, werden am Ende reflektirt und wiederholen dieses Spiel einige millionenmal in der Sekunde.

Sie haben bemerkt, dass die beiden Glühlampen in der Nähe der Funkenstrecke stärker leuchten als die anderen. Schalteten wir Messinstrumente an verschiedenen Stellen in die Leitungen, so würden wir die Ströme sogar messen können. Eine auffallende Thatsache würde sich dabei enthüllen: die Stärke der elektrischen Strömung ist nicht an allen Stellen die gleiche. Hier in der Mitte des Saales, in der Nähe der Funkenstrecke, würden die Ampèremesser wesentlich grössere Ausschläge zeigen als dort in der Nähe der freien Drahtenden. Tragen wir die grössten Stromstärken als positive und negative Ordinaten an den verschiedenen Stellen der Drähte auf, so erhalten wir den gesetzmässig gerundeten Bauch einer Sinuslinie, *A B C*, Fig. 4. An den Drahtenden, den Reflexstellen, sinkt die Strömung auf null. In der Funkenstrecke, wo die hocherhitzten Gase und Metalldämpfe die beiden Drähte leitend verbinden, erreicht die Strömung ihren grössten Wert.

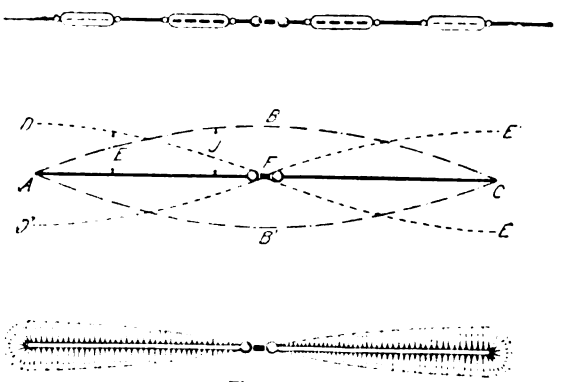


Fig. 3, 4, 5.

Noch an einer anderen Eigenschaft können wir die Eigentümlichkeit der Erscheinung erkennen. Jedes Teilchen der Drähte nimmt eine elektrische Spannung an, welche aber eine Wechselspannung ist und ähnlich wie der Strom an jeder Stelle millionenmal in einer Sekunde zwischen einem positiven und negativen Grösstwert schwankt. Diese Wechselspannungen befolgen nun das entgegengesetzte Verhalten wie die Ströme: sie erreichen ihre höchsten Schwankungen an den freien Enden, *DD'* und *EE'*, Fig. 4, und zeigen in der Nähe der Funkenstrecke nur geringe Werte.

Der experimentelle Nachweis dieser Erscheinungen ist nicht so einfach wie bei den Strömen. Könnten wir diesen Saal völlig ver-

Digitized by Google

dunkeln, so würden wir allerdings wahrnehmen, dass die Enden der Drähte leuchten. Das rührt nicht von einem Stromdurchgang wie bei den Glühlampen, sondern von elektrischen Ausstrahlungen her, die lediglich von den Spannungen abhängen. Der sichere Nachweis lässt sich durch die photographische Trockenplatte führen. Es ist schon längere Zeit bekannt, das mit elektrischer Spannung versehene Körper bei Berührung auf die Trockenplatte einwirken. Beim Entwickeln derselben erhält man strahlenartige Figuren mit feinen und scharfen Verästelungen. Vor einigen Jahren erregte ein Russe namens Jodko die allgemeine Aufmerksamkeit durch Veröffentlichung von strahlenartigen Photographien, die er erhalten hatte durch Auflegung von menschlichen Händen auf die geschützte Trockenplatte. Man konnte die Form der Hände deutlich erkennen und sah besonders von den Fingerspitzen merkwürdige fiederartige Gebilde ausgehen. Die Spiritisten vermuteten darin sofort übernatürliche Kräfte, wurden aber bald durch den geistvollen und witzigen Dr. Jacobsen ad absurdum geführt. Dieser zeigte Handbilder mit den merkwürdigsten Strahlungserscheinungen und verriet das Geheimnis ihrer Herstellung erst, nachdem die Begeisterung ihren Gipfelpunkt erreicht hatte: er hatte warme Jauersche Würste kunstvoll zu einer Hand vereinigt und auf die Platte gelegt. Die Jodkoschen Figuren waren also lediglich eine Folge der menschlichen Wärme. Die Einwirkung elektrisirter Körper auf die Trockenplatte bleibt indessen unbestreitbar. Die kurze Bestrahlung eines lichtempfindlichen Bandes, das ich mit dem Draht in seiner ganzen Länge zur Berührung brachte, zeigte deutlich eine Zunahme der elektrischen Spannung nach dem freien Ende hin, und weitere eingehende Versuche ergaben sogar ein einwandsfreies Sinusgesetz für diese Zunahme, Fig. 5.

Nach dem, was ich vorhin über die Fernwirkung durch Induktion pulsirender Ströme ausgeführt habe, kann es nun nicht wundernehmen, dass die hohe Frequenz der pulsirenden Funkenströme in offenen Leitern besonders wirkungsvolle Fernwirkungen liefert. Und in der That lässt sich der Nachweis mit Leichtigkeit führen. Ich habe hier parallel zu den von dem Funkenstrom gespeisten Drähten einen zweiten völlig isolirten Draht durch die ganze Länge des Saales gezogen. Sobald wir die Funkenstrecke des Primärdrahtes in Thätigkeit setzen, wird der Sekundärdraht von ganz ähnlich verlaufenden Induktionsströmen durchzuckt. Sie sind zwar so schwach, dass ich

Digitized by Google

sie mit den rohen und einfachen Hülfsmitteln, die mir hier zur Verfügung stehen, nicht dem ganzen Auditorium zeigen kann. Wohl aber kann ich die ebenso erzeugten entsprechenden Wechselspannungen an diesem Draht zur Wahrnehmung bringen. Ich wähle dazu die bekannten luftentleerten Geisslerschen Röhren; setze ich sie einer Wechselspannung aus, so leuchten sie auf. Hier am Ende des Drahtes geben sie ihr volles Licht, in der Mitte desselben leuchten sie nicht. Der Verlauf der Spannungen an diesem Sekundärdraht ist nun, wie Untersuchungen gezeigt haben, genau dem Schwingungszustand des Primärdrahtes entsprechend. Sogar das Gesetz der Sinuslinie wird diesen Spannungen aufgeprägt. Ebenso lässt sich zeigen, dass die elektrische Strömung in der Mitte des Drahtes ihren Grösstwert erreicht und nach den Enden hin abnimmt; vergl. Fig. 6 b.

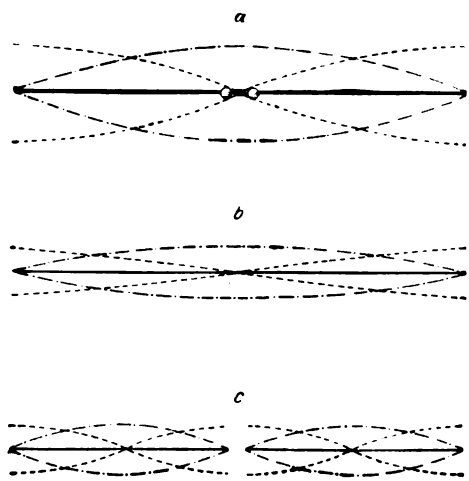


Fig. 6.

Besonders merkwürdig ist aber das Folgende: Schneide ich den Sekundärdraht in der Mitte durch, so bildet sich in jeder Hälfte des Drahtes eine eigene Schwingung aus, die durch die Länge des Drahtes bestimmt ist, Fig. 6c. Wem fällt hier nicht derVergleich mit einer Klaviersaite ein, die in einem tiefen Grundton schwingt und zwei halb so lange Saiten durch Resonanz zum Mitschwingen in dem eine Oktave höher liegenden Oberton veranlasst? In der That, die Analogie mit dem Tönen schwingender Saiten ist eine völlige und wird uns bei den weiteren Betrachtungen wertvolle Fingerzeige für das elektrische Mittönen von Drähten bieten können.

Die einander zugekehrten Enden der halblangen Drähte nehmen Spannungen an, deren Polaritäten entgegengesetzt sind. Nähern wir die Enden, so nehmen wir deshalb ein Funkensprühen wahr. Es ist, als ob die Stromwelle, die in den Drähten induzirt ist, hier an der

Digitized by Google

Unterbrechungsstelle zwischen den Drähten hinüberspritzt, ähnlich wie die Wasserwelle über ein Hindernis in Millionen von glitzernden Tropfen. Sie können von ihren Plätzen aus diese Funken nicht sehen; ich will aber eine Wirkung damit hervorrufen, die allen sichtbar wird. Ich schalte zwischen die freien Enden der Drähte die Kohlenstäbe einer Bogenlampe, welche an die hier vorhandene elektrische Leitung angeschlossen ist. So lange die Stäbe sich nicht berühren, kann der Gleichstrom aus der Leitung von Kohle zu Kohle nicht übertreten. Lasse ich nun aber die primäre Funkenstrecke spielen, so spritzen an den Kohlen feine Funken über, bilden eine Brücke für den Gleichstrom, und die Lampe leuchtet auf.

Wie sollen wir nun die eigentümliche Wirkung erklären, deren Zeugen wir soeben gewesen sind? Es sind dieselben Kräfte, welche den Froschschenkel zum Zucken brachten; sie breiten sich aus durch den Raum, sie durchdringen unsere Körper, durchbrechen die dicken Steinwände dieses Hauses und pflanzen sich fort durch das grenzenlose Weltall. Man hat die Geschwindigkeit der Ausbreitung gemessen; sie stimmt überein mit der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/sk. Befände sich etwa auf dem Mars zu dieser Stunde ein Berufsgenosse, vertieft in das Studium der gleichen Erscheinung, und ständen, der vorgeschrittenen Kultur der Marsbewohner entsprechend, unendlich viel feinere Hülfsmittel zum Erkennen dieser Kräfte zu seiner Verfügung; genau nach 3 min würde das Leuchten einer Röhre, das Licht einer Bogenlampe oder das Zucken einer höher organisirten frischen Tierleiche ihm Kunde geben von unserem Thun. Sie sehen, bis auf diese kleinen Voraussetzungen ist Tesla durchaus im Recht, wenn er mit dichterischer Phantasie von einer Mars-Telegraphie der Zukunft träumt.

Es ist aber eigentlich auch nicht viel mehr als dichterische Phantasie, wenn wir uns nach der üblichen Anschauung den Weltraum als ein unendliches Aethermeer vorstellen, dessen Wellenschlag die elektrischen Kräfte weiterleitet. Es ist bekannt, dass die Fortpflanzung des Lichtes in ähnlicher Weise erklärt wird, und dass man in dem Licht selbst eine elektrische Erscheinung vermutet, deren Wellenfrequenz noch millionenmal grösser ist. Ich muss es mir versagen, auf diesen interessanten Zusammenhang hier näher einzugehen, möchte aber daran erinnern, wie schnell die Vorstellung des Lichtes als Wellenbewegung in unsere Denk- und Ausdrucksweise über-

Digitized by Google

gegangen ist. Wir reden von den »Fluten des Lichts«, Goethe lässt Faust »die irdische Brust im Morgenrot baden« und schildert das All als »ein ewiges Meer, ein wechselndes Weben.« Die Aetherstürme der Sonne tragen ihre Wellenschläge zu uns, sie brechen sich an der Netzhaut unseres Auges und verschaffen uns die Empfindung des Lichtes. Schallwellen überträgt der Aether nicht — zu unserem Glück, denn mit den Strahlen des Lichtes würde uns sonst auch der ungeheure Spektakel auf der Sonne zugetragen. Die »Sphärenmusik« ist nur eine dichterische Lizenz.

Kehren wir nach dieser kleinen Abschweifung wieder zu unserem elektrisch schwingenden Draht zurück. Bisher haben wir mit den Kugeln oder sogenannten Polen der Funkenstrecke nach beiden Seiten hin Drähte verbunden. Eine neue wertvolle Eigenschaft derselben erkennen wir, wenn wir den einen Pol mit der Erde verbinden und den Draht vom andern Pol senkrecht in die Höhe führen, Fig. 7. Die Verteilung der elektrischen Spannung an diesem Draht verändert sich dadurch nicht, ebensowenig die Ströme. Es ist genau so, als nähme in der Erde ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes die auf- und niederzuckenden Ströme auf. Stellen wir ebenso die eine Hälfte des Sekundärdrahtes senkrecht und legen das untere Ende an Erde, so vollzieht sich die Induktion in unveränderter Weise, auch hier können wir die Erde durch ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes ersetzt denken, Fig. 7. Die Tragweite der Wirkung, die Entfernung, auf welche wir die elektrischen Impulse senden können, nimmt dabei zu. Es scheint so, als ob in der Erde eine zweite Bahn für die Weiterleitung der elektrischen Stösse oder Schwingungen sich darböte; Tesla hat sogar eine Telegraphie, lediglich durch die Erde, darauf gegründet. Dass dies in gleicher Weise wie bei den Drähten auf Induktion durch Ströme zurückgeführt werden könne, muss bezweifelt werden. Ich möchte vielmehr vermuten, dass es sich um Spannungserschütterungen handelt. Zweifellos hat die Erde eine bestimmte elektrische Spannung, deren wahre Grösse uns unbekannt ist; da sie sich als ein unendlich grosser Behälter darstellt, so ist ihre mittlere

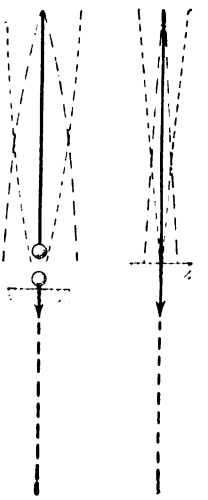


Fig. 7.

Digitized by Google

Gesamtspannung sicherlich als eine nur wenig veränderliche Grösse aufzufassen, etwa wie die mittlere Tiefe der Weltmeere. Man nimmt sie deshalb auch als willkürlichen Nullpunkt der Spannung an und zählt elektrische Spannungen, die grösser sind, als positiv, solche, die kleiner sind als negativ.

Nun ist uns bekannt, das lokale Erschütterungen der Erdspannung sich auf weite Entfernungen bemerkbar machen, wie der Sturm in der Mitte des Ozeans nach einiger Zeit seine Wellen bis an die Küste sendet. Das grosse Wechselstrom-Krafthaus in Deptford bei London erhielt eines Tages Erdschluss, und die dadurch hervorgerufenen Störungen des Erdpotentials machten sich in Paris an den feinen Messinstrumenten des Observatoriums, die mit der Erde in Verbindung standen, deutlich hemerkbar.

Die wesentliche Steigerung der Induktionserscheinung durch Erdverbindung soll uns wieder ein Experiment zeigen. Wir legen den einen Pol des Induktoriums an Erde und verbinden mit dem andern einen mit feinen Kupferdrähten besponnenen Bindfaden. Eine zweite Schnur aus gleichem Material spannen wir 1 m entfernt parallel dazu aus und legen das eine Ende derselben gleichfalls an Erde. Wenn wir nun den Saal verdunkeln, können Sie deutlich die mehrere Centimeter langen Funken sehen, die ich aus dem Sekundärdraht ziehe. Jetzt werden Sie auch ein Leuchten beider Drähte bemerken. Hätte ich die Drähte nicht parallel, sondern senkrecht zu einander angeordnet, würden Sie ein solches Leuchten nicht wahrnehmen.

Die durch Erdverbindung eines Poles der Funkenstrecke am ausgespannten Draht des andern Poles hervorgerufene Erscheinung ist dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Wechselspannungen von der Funkenstrecke aus nach dem freien Ende des Drahtes hin stetig zunehmen, während die hin- und herzuckenden Wechselströme in der Nähe der Funkenstrecke ihre grössten Werte erreichen und nach dem freien Ende des Drahtes hin abnehmen. Die Zunahme des Leuchtens nach dem freien Ende des Drahtes hin haben Sie bei dem Experiment nicht wahrnehmen können. Dies rührt daher, dass ich durch einen Kunstgriff, dessen Erörterung mich hier zu weit führen würde, die Drähte künstlich verlängert habe, um das Phänomen zu verstärken. Was Sie gesehen haben, waren thatsächlich nur die äussersten Enden wesentlich längerer Drähte. Die Stellen der grössten Schwankung nennt man in der Theorie der schwingenden Saiten die

Digitized by Google

Schwingungsbäuche, die Orte der Ruhe, an denen eine Schwingung nicht bemerkbar ist, dagegen Schwingungsknoten. Uebertragen wir diese Bezeichnung auf den elektrisch schwingenden Draht, so müssen wir sagen: die elektrischen Wechselspannungen besitzen an der Spitze einen Bauch, an der Funkenstrecke einen Knotenpunkt, die Wechselströme dagegen haben an der Funkenstrecke den Bauch und an der Spitze den Knotenpunkt.

Dies führt uns dazu, ein ganz ähnliches mechanisches Beispiel zu betrachten. Ich habe hier ein federndes Stück Bandeisen von 1 m Länge mit einem Ende in einem Schraubstock festgespannt. Schlage ich an irgend einer Stelle mit dem Hammer dagegen, so versetze ich das Eisen in Schwingungen von gesetzmässiger Frequenz, die ich aus den Abmessungen und der Elastizitätskonstante des Eisens berechnen kann. Der Schwingungsfrequenz, die sich der Luft mitteilt, entspricht die Tonhöhe, die wir hören. Sie bleibt unverändert, an welcher Stelle ich das Eisen auch berühre. Wir erkennen also eine dem Eisen eigentümliche Schwingungsfrequenz, seine Eigenfrequenz, die, wie ein Versuch sofort ergiebt, nur von der Länge des schwingenden Bandes abhängt. Die seitlichen Ausbiegungen, welche der Stab erfährt, seine Amplituden, sind am freien Ende am grössten, an der Befestigungsstelle am geringsten. Umgekehrt sind aber die Biegungsspannungen, die Beanspruchungen des Eisens, an der Spitze am kleinsten, hier unten dagegen am grössten. Wir erkennen also an der Spitze einen Bauch für die Bewegungsamplituden, am Schraubstock einen Bauch für die Biegungsspannungen, und umgekehrt ihre Knotenpunkte. Es bestehen also ganz analoge Verhältnisse wie bei dem elektrisch schwingenden Draht.

Nun gestattet uns aber das mechanische Beispiel, die Uebertragung der Schwingung auf einen zweiten Sekundärdraht durch eine Wellenbewegung zu veranschaulichen. Ich spanne einen Winkel aus Bandeisen mit gleich langen Schenkeln am Winkelpunkt fest und erschüttere durch einen Schlag mit dem Hammer den einen dieser Schenkel. Sie sehen, dass auch der zweite Schenkel sofort in Schwingung versetzt wird; die Schwingung hat sich von dem ersten Schenkel durch den Knotenpunkt auf den zweiten übertragen. Dies geschieht aber nur dann, wenn die Schenkel gleich lang sind, wenn also die Eigenfrequenz des zweiten Schenkels mit der durch den Knotenpunkt auf ihn übertragenen völlig übereinstimmt. Wiederhole ich das Ex-

Digitized by Google

periment mit ungleichen Schenkeln, so bleibt die Bewegungsübertragung aus. Zum guten Gelingen des Experimentes ist aber erforderlich, dass der Knotenpunkt eine geringe Erschütterung erfährt; würde er völlig festgehalten sein, könnte die Bewegungsübertragung nur durch Molekularkräfte im Eisen erfolgen: die Erschütterung würde nicht sichtbar werden, vorhanden ist sie aber trotzdem.

Die weitere Betrachtung geschieht am besten anhand einer Skizze, Fig. 8. *A B F G* sei ein elastischer Stab von der sechsfachen Länge des freien Schenkels *A B*. Jede Erschütterung desselben pflanzt sich durch den Knotenpunkt *B* nach *C* fort und erzeugt dort einen Schwingungsbauch von gleicher Frequenz. Dieser überträgt sich durch den freien Knotenpunkt *D* nach *E* und von hier aus durch den Knotenpunkt F auf den Sekundärstab *F G*, welcher wie der Primärdraht *A B* wieder

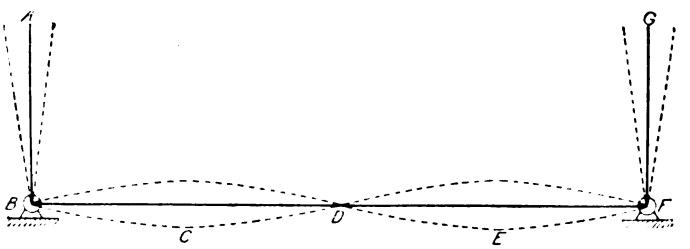


Fig. 8.

senkrecht angeordnet sein mag. Jede Erschütterung des Primärdrahtes bewirkt eine synchrone Schwingung des Sekundärdrahtes, die Uebertragung der Bewegung erfolgt durch den verbindenden Draht *B F*, der die Schwingungsbewegung einer stehenden Welle annimmt. Wählt man Bandeisen, so kann man die Bäuche *C* und *E* sowie den Knotenpunkt *D* deutlich erkennen, wenn man diese Stellen mit trockenem Sand bestreut. Bei *C* und *E* gerät der Sand in lebhaftes Hüpfen, bei *D* bleibt er in Ruhe. Bekanntlich nennt man die Strecke, welche einen Wellenberg und ein Wellenthal umfasst, die Länge der Welle, und wir erkennen das folgende einfache Gesetz: Die Bewegungsübertragung von *A* nach *G* erfolgt durch eine stehende Welle, deren Länge gleich dem Vierfachen der schwingenden Vertikaldrähte ist.

Dieses einfache Gesetz können wir nun sofort auf unsere elektrisch schwingenden Drähte übertragen, Fig. 9. Stosse ich einen ge-

Digitized by Google

erdeten Draht *AB* elektrisch an, indem ich an beliebiger Stelle, etwa bei *C*, einen Funken auf ihn überschlagen lasse, so gerät er in elektrische Schwingungen, deren Frequenz lediglich von der Länge des Drahtes abhängt. An der Spitze des Drahtes bildet sich ein Bauch für die elektrischen Wechselspannungen aus, an der Erdungsstelle, bei *A*, ein Bauch für die Ströme. Befindet sich in einiger Entfernung davon ein zweiter paralleler Draht von gleicher Länge *DE*, so wird er durch Induktion gleichfalls in elektrische Schwingungen versetzt. Diese Schwingungen haben aber die doppelte Frequenz des Primärdrahtes, wenn der Draht an beiden Enden isolirt ist; in der Mitte entsteht ein Knotenpunkt für die Spannung, an beiden Enden Bäuche. Der Draht schwingt gewissermassen nur in einem Oberton. Um den starken Grundton, d. h. Sekundärschwingungen gleicher Frequenz zu erhalten, müssen wir dem Sekundärdraht entweder die doppelte Länge geben oder ihm am unteren Ende die Spannung null aufdrücken, indem wir ihn erden; vergl. *FG*, Fig. 9.

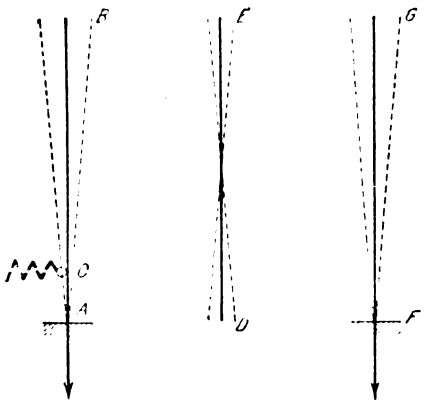


Fig. 9.

Im letzteren Falle können wir annehmen, dass die Uebertragung sich in ganz entsprechender Weise vollzieht wie bei dem mechanisch schwingenden Eisenstab. Die Schwingungen teilen sich einem elastischen Mittel mit, dem Aether innerhalb und ausserhalb der Erde, und tragen den elektrischen Impuls in der Form von stehenden Wellen bis an den Sekundärdraht. Die beste Wirkung ergiebt sich hiernach, wenn beide Drähte auf gleiche Frequenz gestimmt, d. h. von gleicher Länge sind. Der Primärdraht entspricht einem Viertel dieser Wellenlänge. Sind die Längen der Drähte nicht in Uebereinstimmung, so wird der Sekundärdraht zwar auch durch den ersten Anstoss in Eigenschwingung versetzt, aber mit wesentlich geringerer Intensität. Ist seine Länge dagegen ein ungerades Vielfaches des Primärdrahtes, so unterstützen die einzelnen Impulse die eingeleitete Eigenschwingung und verstärken sie.

Digitized by Google

Die Natur zeigt uns ähnliche Erscheinungen in grosser Fülle. Es ist bekannt, dass die Schwingungen eines Schiffes für ganz bestimmte Umlaufzahlen der Maschine, die den Eigenschwingungen des Schiffskörpers entsprechen, am fühlbarsten sind. Verhängnisvoll für eine eiserne Brücke kann der Gleichschritt marschirender Soldaten werden. Das angenehme Fahren in den langen D-Wagen der Eisenbahn rührt nicht zum wenigsten davon her, dass ihre Eigenschwingungen gegenüber der Frequenz der Schienenstösse verringert sind.

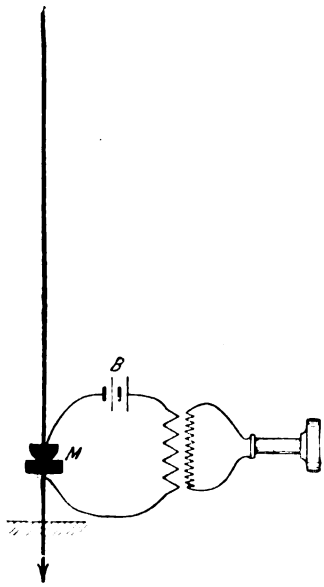


Fig. 10.

Wir kommen nun zu den Mitteln welche angewendet werden müssen, um die elektrischen Induktionserscheinungen am Sekundärdraht zur Wahrnehmung zu bringen. Wir wollen diese Einrichtungen als Indikatoren bezeichnen. Es ist ohne weiteres klar, dass sich hierfür zwei Wege darbieten, je nachdem wir den Strom oder die Spannung dazu heranziehen. Beide müssen aber, zur Aufnahme der grössten Wirkung, in die ihnen entsprechenden Schwingungsbäuche eingeschaltet werden. Diejenigen Einrichtungen, welche auf Wechselströme ansprechen, sind in dem unteren Teil des Fangedrahtes, dicht über der Erdungsstelle, anzubringen, denn dort ist der Schwingungsbauch für die Ströme. Spannungsindikatoren wären dagegen, wenn möglich, an der Spitze des Fangedrahtes anzuordnen. Dass beide Mittel ausserordentlich empfindlich und präzis wirkend sein müssen, ist selbstverständlich.

Ich will zunächst mit wenigen Worten die Stromindikatoren behandeln. Das durch hohe Empfindlichkeit ausgezeichnete Telephon ist für sich allein nicht verwendbar; seine Spule würde, in den Fangedraht unmittelbar eingeschaltet, durch ihre hohe Selbstinduktion die herangeführten schnellen Schwingungen gleichsam abdrosseln und wirkungslos bleiben. Vorzüglich geeignet ist aber das Telephon in Verbindung mit einem Mikrophon, Fig. 10. Der Mikro-

Digitized by Google

phonkontakt *M* hat an sich nur einen geringen Widerstand und kann in die Erdleitung des Fangedrahtes eingeschaltet werden, ohne die elektrischen Schwingungen zu stören. Die ganz schwachen Wechselströme, welche durch den Kontakt hindurchgeführt werden, lagern sich über den Gleichstrom, den eine Batterie *B* ständig durch den Mikrophonkreis sendet, und versetzen ihn in geringe Schwingung, ähnlich wie die leise Berührung einer Libelle oder die Flaumfeder eines Vogels die stille Fläche eines Weihers kräuselt. Werden diese Schwingungen durch eine Induktionsspule in bekannter Weise transformirt, so können wir sie mit dem Telephon wahrnehmen. Allerdings entspricht der Ton nicht den schnellen Schwingungen, welche die Funkenstrecke aussendet — denn unser Ohr vermag nur Schwingungen bis zu 40 000 in der Sekunde wahrzunehmen, hier aber handelt es sich um Millionen —, wohl aber den ersten Stössen des Wogenschwalles, den das Einsetzen des Funkens auslöst; mithin entspricht der gehörte Ton den Unterbrechungen der Primärrolle des Induktoriums.

Der Mikrophon-Empfänger ist das bei weitem empfindlichste Mittel, welches wir zur Aufnahme funkentelegraphischer Signale verwenden können. Zwischen dem Krafthause Schiffbauerdamm in Berlin und dem Kabelwerk Oberspree, 14 km in der Luftlinie entfernt und getrennt durch Berlin in seiner grössten Ausdehnung von Nordwest nach Südost, konnte eine vollkommen sichere Verständigung mit 12 m langem Auffangedraht erzielt werden, der noch dazu völlig im Schatten grosser Gebäude lag.

Wunderbarerweise ist aber der Mikrophon-Empfänger nicht nur der allerempfindlichste, sondern auch der älteste, und zwar war es der geniale Erfinder des Mikrophons selber, Professor Hughes, der Ende der siebziger Jahre diese Eigenschaft entdeckte. Er erzählt, wie er mit seinem Mikrophon ausgerüstet die lange Strasse, in der er wohnte, hinunterschreitend deutlich das absetzende Funkenspiel des in seiner Wohnung befindlichen Induktoriums hören konnte. Eine eigene Fügung des Schicksals hielt ihn davon ab, die Entdeckung weiter zu verfolgen. Einige gelehrte Freunde, die er einlud, dem Experimente beizuwohnen, überzeugten sich zwar von der Richtigkeit desselben, fanden aber die Erklärung des Erfinders, der die Wirkung auf elektrische Ausstrahlungen der Funkenstrecke zurückführen wollte, so absurd, dass sie ihm ernstlich abrieten, einen Vortrag darüber in der Royal Society zu halten, weil sie fürchteten, sein wohlgegründeter wissenschaftlicher

Digitized by Google

Ruf könnte dabei Schaden leiden. Die Zunftgelehrsamkeit erwies sich hierbei nicht zum erstenmal als ärgster Feind der Wissenschaft.

Leider ist die Verwendung des Mikrophon-Empfängers auf einzelne Fälle beschränkt. Die schwachen Wellenströme, welche er aufnimmt, lassen sich zwar im Telephon hörbar machen, gestatten aber nicht die Benutzung eines Relais mit Schreibvorrichtung, um die Zeichen in Morse-Schrift festzulegen. Für viele Zwecke ist dies aber eine nicht zu umgehende Forderung.

Dieser Bedingung lässt sich nun aber in weitestgehendem Masse genügen, wenn wir zur Aufnahme der elektrischen Schwingungen Spannungsindikatoren benutzen. Einen solchen haben wir bereits vorhin beim Anzünden der Bogenlampe kennen gelernt. Im Spannungsbauch der schwingenden Drähte stellten wir durch Funkensprühen den Kurzschluss eines Gleichstromkreises her und lösten dadurch bereitstehende elektrische Kräfte aus, welche die Signalgebung in beliebig verstärkter Form gestatten. Hier bei der geringen Entfernung erhielten wir millimeterlange Funken und konnten durch verhältnismässig einfache und rohe Mittel die Wirkung verstärken und die Signale weithin sichtbar machen. Bei Entfernungen von 100 km und mehr sind die am Spannungsbauch der Drähte zu erhaltenden Funken millionenmal kleiner, es sind deshalb entsprechend feinere Mittel zu wählen.

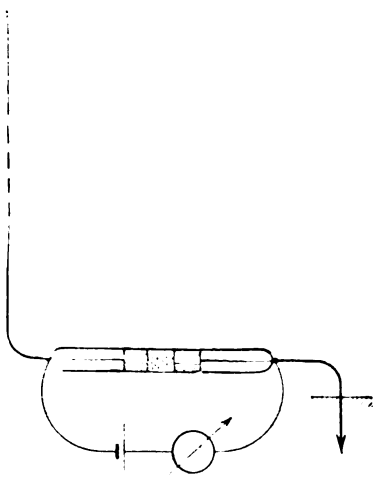


Fig. 11.

Die moderne Funkentelegraphie ist erst möglich geworden durch die Erfindung eines hochempfindlichen Spannungsindikators, nach seinem Erfinder die Branlysche Röhre oder Fritter genannt. Ich darf in dieser Versammlung die Wirkungsweise des Fritters im allgemeinen wohl als bekannt voraussetzen und kann mich kurz fassen. In einer evakuirten Glasröhre, Fig. 11, befinden sich zwei eingeschliffene

Digitized by Google

Silberkolben, zwischen denen ein feines Metallpulver in loser Schichtung einen fast unendlich grossen Uebergangswiderstand bildet. Mit den Silberkolben sind Platindrähte verbunden, die, in die Glaswand eingeschmolzen, einerseits dazu dienen, die elektrischen Schwingungen des Fangedrahtes an das Pulver heranzuführen, anderseits einen Stromkreis zu schliessen, in dem sich ausser einem kleinen Trockenelement noch ein Relais befindet. Wird die Röhre einer pulsirenden Wechselspannung ausgesetzt, so schliessen die unendlich feinen Funken, die in dem Metallpulver auftreten, den Relaiskreis und geben durch den Schluss einer stärkeren Lokalbatterie ein niederschreibbares Zeichen. Dabei bilden sich aus kondensirten Metallteilen lose Brücken. Die geringe Erschütterung eines gegen die Röhre schlagenden Klöppels bringt die Brücken zum Zerfall und stellt den unendlich grossen Widerstand der Röhre wieder her. Durch kürzere oder längere Zeichengebung kann man somit Punkte und Striche des Morsealphabets erzeugen.

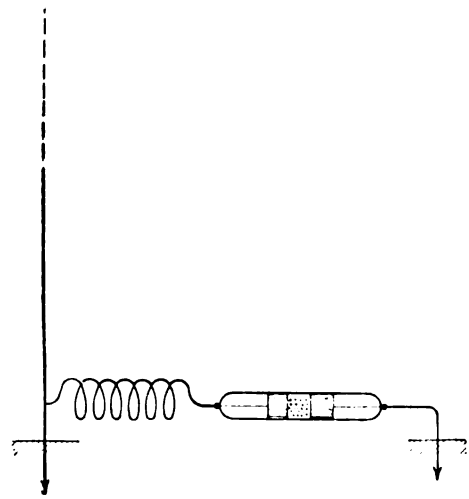


Fig. 12.

Wie mehrfach erwähnt, muss der Fritter, da er nur auf Spannungen anspricht, thunlichst in einem Spannungsbauche angeschlossen werden. Vergegenwärtigen wir uns nun die Verhältnisse am Fangedraht. Wollen wir den starken Grundton der Schwingung ausnutzen, müssen wir den Fangedraht unten erden; dann bildet sich aber der Spannungsbauch an der Spitze aus, die für uns unzugänglich ist. Es hat langer Ueberlegungen und eingehender Studien bedurft, ehe das überaus einfache Mittel gefunden wurde, den zündenden Funken des Spannungsbauches aus luftiger Höhe in erreichbare irdische Nähe zu bringen. Das Experiment mit den schwingenden Eisenbändern giebt uns jetzt einen deutlichen Fingerzeig. Schliessen wir in der Nähe der

Digitized by Google

Erdungsstelle an den Fangedraht einen gleichgestimmten Verlängerungsdraht, so pflanzen sich die Schwingungen durch den Knotenpunkt fort und bilden am Ende dieses Drahtes einen Spannungsbauch in ähnlicher Grösse wie an der Spitze. Der Verlängerungsdraht braucht nicht geradlinig geführt zu werden; wir können ihn auch aufrollen zu einer elektrisch äquivalenten Spule, Fig. 12.

Jedes richtige Mittel pflegt aber eine Reihe von günstigen Nebenwirkungen mit sich zu führen. So auch hier. Die Erdverbindung des Fangedrahtes schützt den Fritter vor unbefugten elektrischen Störenfrieden. Zu den unerträglichsten gehörten früher die elektrischen Entladungen der Atmosphäre. Es ist bekannt, dass in den höheren Schichten der Luft andere elektrische Spannungen herrschen als in der Nähe der Erdoberfläche; zudem wechseln diese Spannungen besonders an schwülen Tagen. Es war früher keine Freude für den Funkentelegraphisten, wenn die geschwätzige Atmosphäre mit unaufhörlichem Geplapper seine Morsezeichen verwirrte. Dieser Störenfried ist jetzt endgültig beseitigt, und zwar so nachdrücklich, dass eine fehlerfreie Zeichengebung mitten im stärksten Gewitter möglich ist, wie dies mehrfache Versuche in Berlin gezeigt haben. Das herannahende Gewitter, dessen Donner wir soeben hören, giebt mir erwünschte Gelegenheit, Ihnen die Störungsfreiheit an den hier aufgestellten Vorrichtungen zu zeigen.

Die besprochene Schaltung sichert aber auch gegen das Eindringen nicht abgestimmter Zeichen eines fremden Funkengebers; allerdings darf er nicht allzu nah aufgestellt und allzu wirksam sein. Dann tritt der Fall ein, dass der Empfänger durch den ersten Stoss des Funkens in geringe Eigenschwingungen versetzt wird. Bei grösseren Entfernungen reichen diese einmaligen Stösse nicht aus, sondern das Ansprechen erfolgt erst, wenn die zahlreichen Pulsationen des einzelnen Funkens in ihrem Zeitmass mit den Perioden der Eigenschwingung zusammentreffen und dadurch die Wirkung allmählich verstärken. Was ich allmählich nenne, vollzieht sich allerdings in Bruchteilen von zehntausendstel Sekunden.

Die Sicherheit der Zeichengebung ist durch Anwendung dieser Schaltungen nicht nur wesentlich erhöht, sondern die Uebertragungsweite auch beträchtlich vergrössert worden. Von hoher praktischer Bedeutung ist der Umstand, dass vorhandene Erdleiter, wie Blitzableiter und eiserne Schiffsmaste, ohne weiteres zum Geben

Digitized by Google

und Empfangen der Funkentelegramme benutzt werden können. Die Abstimmung korrespondirender Apparate sowie das gleichzeitige Empfangen verschiedener Telegramme mit einem Fangedraht ist, wie ich bei einer früheren Gelegenheit durch Versuche beweisen konnte, als eine nunmehr gelöste Aufgabe zu betrachten.

Die Mittel zur Vervollkommnung der Funkentelegraphie sind aber damit nicht erschöpft. Legen wir uns zunächst die Frage vor, wie ein Empfangsapparat bei gleicher Sicherheit der Wirkung empfindlicher gestaltet werden kann, so werden wir in erster Linie an den wesentlichsten Teil des Apparates, den Fritter, denken. Jahrelange Bemühungen haben mir gezeigt, dass alle Bestrebungen, den Fritter empfindlicher zu machen, aussichtslos sind. Es ist dies zwar durchaus möglich durch Benutzung feineren Pulvers bei vermehrter Beimischung von Silber — doch nur auf Kosten der Präzision der Auslösung. Wenn aber ein Fritter durch den leisen Schlag des Klopfers nicht sofort seinen unendlich grossen Widerstand annimmt, ist er für praktische Verwendung unbrauchbar. Die Sicherheit des Betriebes der Funkentelegraphie ist zurzeit noch von erheblich grösserer Bedeutung als die Uebertragungsweite, denn sie hat zunächst den Nachweis der völligen Zuverlässigkeit zu erbringen. Man wird deshalb gut thun, sich vorläufig mit einer geringeren Empfindlichkeit des Fritters zu begnügen.

Ein anderer Gesichtspunkt ist aussichtsvoller. Die Funkentelegraphie ist eine Energieübertragung, und nur ein bestimmtes Mass von Energie gelangt am Fangedraht zur Aufnahme. Die Energie setzt sich aus Strom und Spannung zusammen; da nun der Fritter ausschliesslich auf Spannung anspricht, so wird man darauf Bedacht nehmen müssen, die Spannung des verfügbaren Energiebetrages auf Kosten des Stromes thunlichst zu erhöhen. Marconi hat in neuerer Zeit nach dem Vorgange von Lodge mit Erfolg das Prinzip des Transformators für diesen Zweck in Anwendung gebracht. Ein anderes Mittel ist aber noch wesentlich wirkungsvoller. Ein akustisches Analogon soll uns dieses erläutern. Ich habe hier eine Stimmgabel, welche ich mit einem Hammer berühre und dadurch in Schwingungen versetze. Der Ton ist nur leise — setze ich die Stimmgabel aber auf einen geeigneten Resonanzboden, so schwillt er sofort an zu beträchtlicher Stärke. Eine ähnliche Resonanzwirkung können wir auch bei elektrischen Schwingungen erzielen. Jedem Elektro-

Digitized by Google

techniker ist der sogen. Ferranti-Effekt bekannt. Wenn man die Klemmen einer Wechselstrommaschine mit den beiden Leitern eines offenen Kabels verbindet, kann man die elektrischen Verhältnisse so wählen, dass die Spannung an den Enden des Kabels zu beträchtlicher Grösse anschwillt, welche die Spannung der Maschine um ein Vielfaches überschreitet. Es ist dazu nur erforderlich, die elektrischen Dimensionen des Kabels, d. i. Widerstand, Kapazität und Selbstinduktion, so zu wählen, dass seine Eigenfrequenz mit der von der Maschine erzeugten Frequenz nahezu übereinstimmt. Das Kabel muss also auf die Frequenz des eingeleiteten Wechselstromes abgestimmt sein.

Verbinden wir nun mit einem von schnell pulsirenden Strömen durchzuckten Drahte eine auf die Frequenz der Schwingungen abgestimmte Spule mit grosser Selbstinduktion bei geringer Kapazität, so erhalten wir an dem freien Ende der Spule eine wesentlich grössere Spannung. Die übertragene Energie wird gewissermassen auf einen stärker schwingenden Resonanzboden übersetzt; die eingeleitete Spannung wird auf Kosten des Stromes gleichsam multiplizirt; ich habe darum für diese Einrichtung den Namen Multiplikator vorgeschlagen. Mit einem Transformator hat er nichts gemein, denn bei diesem wie auch bei dem bekannten Autotransformator oder dem sogen. Spartransformator haben wir stets mit zwei für sich bestehenden Schwingungskreisen zu thun. Bei dem Multiplikator dagegen wird in eine einzelne Spule niedrig gespannte Energie eingeleitet und am Ende als hochgespannte Energie abgeleitet. Die folgenden Versuche werden Ihnen die merkwürdige Wirkung, die man damit erzielen kann, schneller begreiflich machen, als meine Worte es vermöchten.

(Eine Reihe von abgestimmten Multiplikationsspulen, die alle zugleich an einen Schwingungskreis angeschlossen sind, kommen bei Einstellung verschiedener Frequenzen mithülfe einer veränderlichen Selbstinduktion nach einander zur Wirkung und zeigen weithin leuchtende elektrische Strahlungserscheinungen.)

Die vorgetragenen wissenschaftlichen Grundgesetze der Funkentelegraphie, welche aus längeren Untersuchungen hervorgegangen und seit einem halben Jahre Gemeingut geworden sind, wurden von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft unter Leitung des Grafen von Arco zur Ausbildung zahlreicher erfolgreicher Schaltungen für

Digitized by Google

die Funkentelegraphie benutzt, die alle zu beschreiben hier zu weit führen würde, deren neueste Form aber die hier im Saal befindlichen Vorrichtungen darstellen. Ihre Wirkungsweise ist nach dem Gesagten sofort verständlich.

Der Sender, Fig. 13, besteht aus einem an der Fahnenstange des Gebäudes befestigten Draht, der bis herunter zur Erde geführt und dort mit der Wasserleitung verbunden ist. Eine Schlinge dieses Drahtes ist durch das Fenster hier in den Saal geleitet und wird bei *F* durch ein Induktorium mit Funkenstrom gespeist. Um dies zu ermöglichen, ist der andere Pol der Funkenstrecke durch einen abgestimmten Kondensator *C* an Erde gelegt. Aehnlich wie das angeschlagene Eisenband des früheren Versuches wird der Draht hier durch elektrische Funken angestossen und gerät in Schwingungen, deren Wellenlänge der vierfachen Drahtlänge entspricht. Wollen wir mit einer grösseren Wellenlänge telegraphiren, so haben wir nur nötig, in die Erdleitung eine Zusatzspule *Z* zu schalten, die ich durch Punktirung angedeutet habe. Sie entspricht einer bestimmten äquivalenten Drahtlänge, um welche wir somit die Viertelwellenlänge vergrössern. Ein ganzer Satz von solchen Ergänzungsspulen steht für die Verwendung bereit. In jedem Fall ist aber die Schwingung in dem durch die Erdverbindungen geschlossenen Kreise auf die Schwingung des Drahtes abzustimmen, um die grösste Wirkung zu erhalten. Dies geschieht in einfachster Weise durch Verstellen einer regulirbaren Selbstinduktion *S* oder des Kondensators *C*, die zu diesem Zweck mit bestimmten Marken gezeichnet sind.

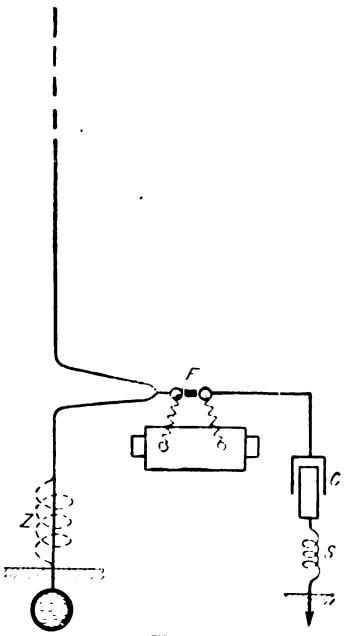


Fig. 13.

Als Empfänger, Fig. 14, dient der gleiche Draht, an welchen ebenfalls vermittelst der Schlinge ein Verlängerungsdraht in Form einer äquivalenten Spule *V* befestigt ist. Der Spannungsbauch am Ende

Digitized by Google

derselben wird verstärkt durch eine abgestimmte Multiplikationsspule *M* und diese unmittelbar mit dem Fritter verbunden. Es ist auch möglich, die Wirkung beider Spulen durch eine einzige von entsprechender Wicklung zu ersetzen. Die Erdleitung des Fritters enthält das Trockenelement und das Relais, welche, um die Schwingungen nicht zu stören, durch einen Kondensator überbrückt sind Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft garantirt bei diesen Einrichtungen Abstimmung auf bestimmte Wellenlängen innerhalb der gebotenen Grenzen und sichere Verständigung auf 100 km über See bei 50 m Masthöhe. Nach Schluss des Vortrages wird Hr. Graf v. Arco die Freundlichkeit haben, einige Telegramme mit den im Hafen liegenden Schiffen sowie mit der 14 km entfernten Landstation Bülk auszutauschen.

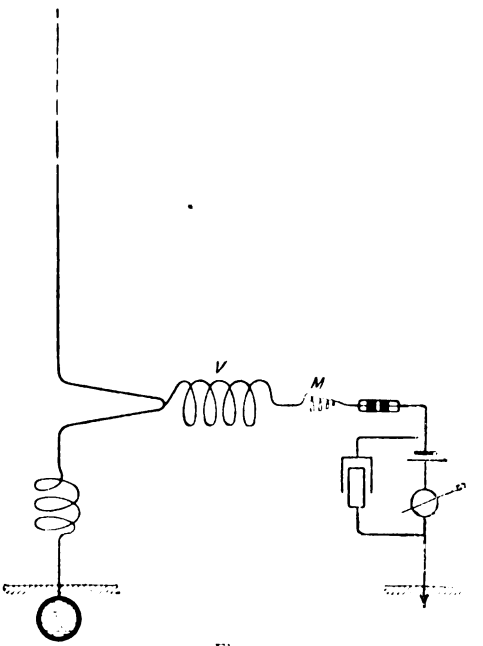


Fig. 14.

Die Funkentelegraphie hat, wie Sie hieraus ersehen werden, das Stadium der tastenden Versuche verlassen, sie ist jetzt einer zielbewussten Ingenieurthätigkeit erschlossen, und die regsamen Kräfte der Industrie werden schon das ihrige thun, das Anwendungsgebiet in schnellem Tempo zu erweitern. Zunächst wird dort, wo Leben und Gut der Menschen noch am meisten gefährdet ist, an der Küste und auf offener See, die Funkentelegraphie bald ein unentbehrliches Verkehrsmittel sein, und ich schätze die Zeit nicht fern, wo jedes grössere Schiff mit dem so einfachen und nützlichen Apparate ausgerüstet sein wird.

Aber auch als überseeisches Verkehrsmittel wird der Funkentelegraph in Zukunft in vielen Fällen das Kabel entbehrlich machen, wenngleich wir in dieser Beziehung die Erwartungen nicht allzuhoch

Digitized by Google

spannen dürfen. Die Grenzen können wir heute annähernd übersehen. Lassen wir ausschweifende Pläne, wie beispielsweise 1000 m lange von Luftballons getragene Drähte, die bei einmaligem Versuch wohl möglich, aber für sicheren Dauerbetrieb praktisch wertlos sind, völlig bei Seite, so werden wir, selbst bei feinerer Ausbildung der vorhandenen Mittel, eine Uebertragung von Zeichen auf mehr als einige hundert Kilometer schwerlich erhoffen dürfen.

Auch der Weg, der für weiteren Fortschritt sich öffnet, liegt klar zutage. Die zum Beginn meines Vortrages erörterten Gesetze zeigten uns, dass die Uebertragungsweite im wesentlichen von 3 Umständen abhängt: von der Länge der parallelen Drähte, der Frequenz der Pulsationen und dem Mittelwert der benutzten Ströme. Die ersten beiden sind kaum noch einer Steigerung fähig; auch bedingt die Verlängerung der Drähte grössere Wellenlängen und damit verringerte Frequenzen, es sei denn, ein völlig neues Mittel werde gefunden, welches die Wellenlänge unabhängig von der benutzten Drahtlänge zu machen gestattet. Es bleibt also nur eine Verstärkung der induzirenden Ströme. Dies hängt von zwei Grössen ab: von der Kapazität oder Aufnahmefähigkeit der Drähte und von der wirksamen Funkenspannung. Je höher wir die Drähte führen, desto geringer wird die Kapazität der von der Erdoberfläche entfernten Teile; je umfangreicher wir sie gestalten, desto schwieriger ihre Befestigung in Sturm und Wetter. Auch hier ist also dafür gesorgt, dass die Bäume nicht bis in den Himmel wachsen.

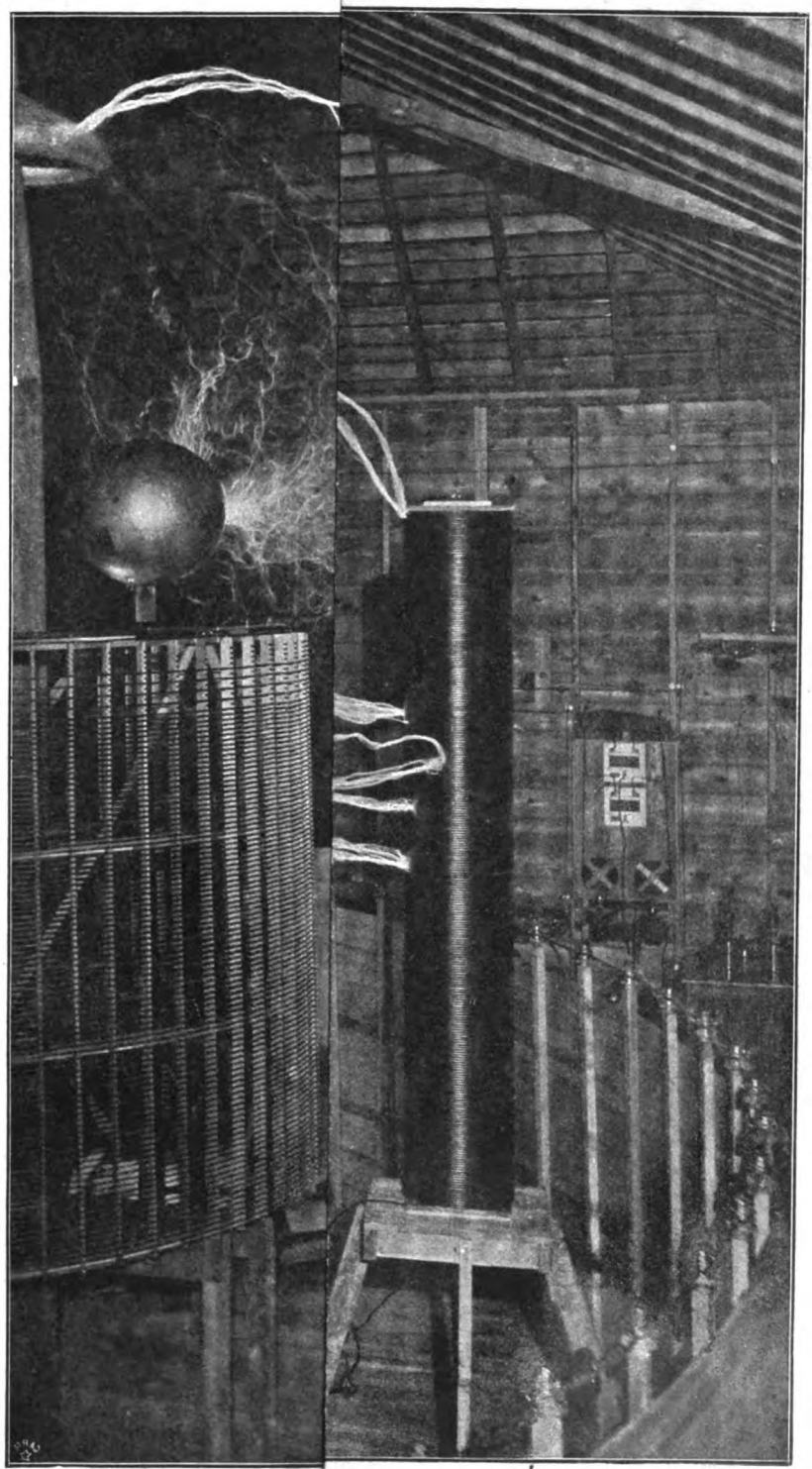
Ich hoffe somit, den überzeugenden Nachweis geführt zu haben, dass die Zukunft der Funkentelegraphie ausschliesslich auf dem Gebiete der Erzeugung hoher elektrischer Spannungen liegt. Was wir in dieser Beziehung bisher verwenden und an den hier aufgestellten Apparaten zeigen, ist eine ausserordentlich bescheidene Leistung, wenn wir damit vergleichen, was fern von hier, jenseits des Ozeans, auf den Höhen der Rocky mountains an den Quellen des Coloradoflusses ein von der Welt sich abschliessender Forscher nur wenigen Eingeweihten bis jetzt gezeigt hat — Nikola Tesla. Auch ich kann nicht als Augenzeuge darüber berichten, sondern nur urteilen nach einigen Photographien, die er in freundschaftlicher Gesinnung mir vor wenigen Tagen gesandt hat. Hier (vergl. beigefügte Tafel) sehen Sie ihn selber in seinem einsamen Bretterhaus, umzuckt von künstlich erzeugten Funkenentladungen, die alles in den Schatten stellen, was

Digitized by Google

unsere kühnste Phantasie sich träumen lässt. Möchte er sein theoretisches Wissen und sein eminentes technisches Können bald in den praktischen Dienst der Funkentelegraphie stellen; dann könnten wir einen neuen gewaltigen Fortschritt erleben, der dem ersten genialen Impuls Marconis würdig zur Seite tritt.

Man hat Tesla den Vorwurf gemacht, dass er bis jetzt aus seinen Versuchen keine praktischen Folgerungen gezogen hat, und viele haben die dichterisch phantastischen Aeusserungen, die hin und wieder von ihm durch die Presse verbreitet wurden, dazu geführt, seine Leistungen überhaupt zu bezweifeln. Aber angesichts der wunderbaren Erscheinungen, welche uns die Natur in dem geheimnisvollen Spiel des elektrischen Funkens offenbart, wird man unwillkürlich zum Dichter, ja selbst ein so ernster Gelehrter wie Prof. Ayrton kann es sich nicht versagen, ein Zukunftsbild wachend zu träumen: »Einst wird kommen der Tag, wenn wir alle vergessen sind, wenn Kupferdrähte, Guttaperchahüllen und Eisenband nur noch im Museum ruhen, dann wird das Menschenkind, das mit dem Freunde zu sprechen wünscht, und nicht weiss, wo er sich befindet, mit elektrischer Stimme rufen, welche allein nur jener hört, der das gleichgestimmte elektrische Ohr besitzt. Es wird rufen: Wo bist du? und die Antwort wird klingen in sein Ohr: Ich bin in der Tiefe des Bergwerkes, auf dem Gipfel der Anden oder auf dem weiten Ozean. Oder vielleicht wird keine Stimme antworten, und er weiss dann, sein Freund ist tot.« Ewig aber und jugendfrisch — so wollen wir hinzufügen — lebt die Wissenschaft und schöpft Jahrhundert um Jahrhundert neue wertvolle Schätze aus dem unversieglichen Born der Natur.

Digitized by Google



Digitized by Google

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY of ILLINOIS

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 045098891

Digitized by Google